

雲の物理から紐解く大雨の特徴

○鶴沼 昂（台風・災害気象研究部）

1. はじめに

私たちは、様々な方法で雨の強弱を知ることが出来ます。けれども、雨の特徴は本当に強弱だけなのでしょうか。別の見方をすると、雨の強さは、降水粒子の大きさやその数を単位体積あたりで足し合わせた値としても地上で測ることが出来ます。この雨の強さを構成する降水粒子は、様々な大きさで雲から落下してきます。そして、それらの降水粒子は、地上に到達するまでに、雲の中で衝突併合・衝突分裂などの様々な物理過程、すなわち雲の物理を経験するのです。本講演では、この雲の物理を紐解くことで、周辺大気的环境場との関係性を加味しつつ、強い雨や多量の雨をもたらす、いわゆる大雨の特徴についてお話します。

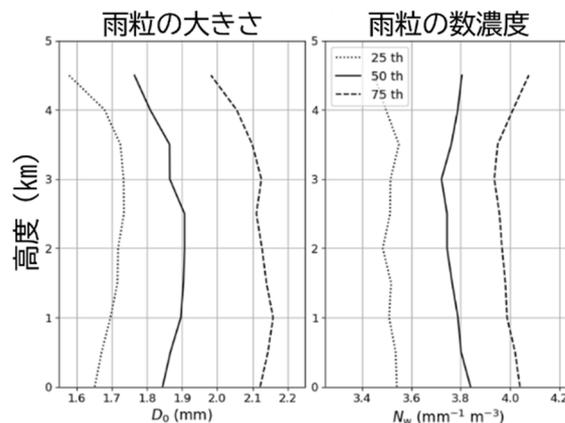
こういった雲の物理を捉えるため、我々は二重偏波レーダーと地上の直接観測データを用います。二重偏波レーダーは、空間的に広い範囲で雨をもたらす雲の特徴を捉えることが出来る飛び道具です。しかし電波を使った間接的な観測なので、得られた特徴が本当に正しいのか、検証が必要です。この正しさを知るために、直接観測データが必要になります。具体的には、雨粒の大きさ毎の頻度を測るディストロメーターで観測した地上のデータを、二重偏波レーダーデータの検証に用いました。加えて、大雨をもたらした積乱雲がどのような大気の状態が発生したかを確認するために、ラジオゾンデの高層気象観測データを用いました。これらのデータの良いところを組み合わせることで、大雨をもたらした積乱雲内部の特徴を調べました (Unuma 2025)。



第 1 図: 本研究で積乱雲内部の構造を捉えるために使用した測器の概念図。

2. 二重偏波レーダーにより捉えた積乱雲内部の特徴

大雨をもたらした積乱雲の内部の高度 2-4 km では、地上に向かって雨粒の粒径が大きくなりつつ、その数は減る傾向が捉えられました (第2図)。この傾向は、雨粒同士が衝突し併合する特徴であると解釈することが出来ます。一方、高度 2 km 以下では、地上に向かって雨粒の粒径は小さくなり、その数は増える傾向が捉えられました (第2図)。このことは、雨粒同士が衝突し分裂する特徴と解釈出来ます。二重偏波レーダーや地上のディストロメーターでは、直接これらの特徴を観測しているわけではありません。第2図のように鉛直方向の変化を推定することで初めて、積乱雲内部で何が起きているか解釈可能となった訳です。

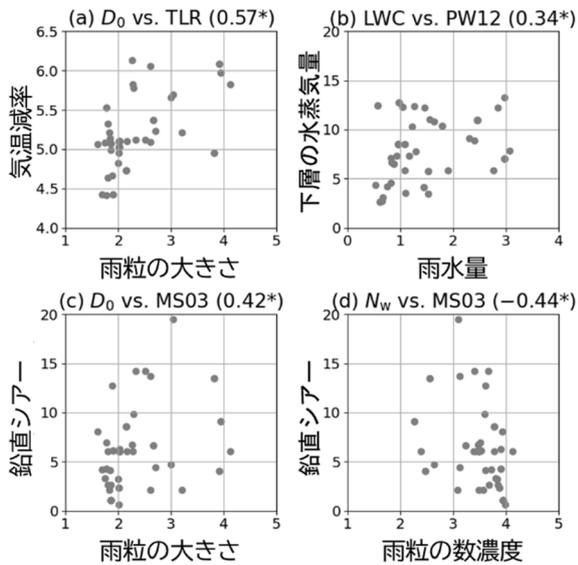


第 2 図: 二重偏波レーダーから推定した、積乱雲内の代表的な雨粒の大きさ (D_0) と雨粒の数濃度 (N_w) の鉛直分布。点線・実線・破線は、25・50・75 パーセンタイル値をそれぞれ示す。

3. 積乱雲内部の特徴と周辺大気的环境場との関係

第2図から推定された積乱雲内部の特徴は、周辺大気的环境場と関連していることが想定されます。なぜならば、気温・湿度・風向風速の鉛直分布といった大気の間が積乱雲の発生・発達に重要だからです。二重偏波レーダーデータ及び気温や湿度、風向・風速といった高層気象観測データを用いてそれぞれの関係を調べてみると、周辺大気の気温減率が大きい場合に対流雲(積乱雲や積雲)内の代表的な雨滴は大きくなる傾向があること、周辺大気の対流圏下層の水蒸気量が多い場合に対流雲内で生成される雨の量(雨水量)が高くなる傾向があることが明らかになりました (第3図)。また、水平風の鉛直シアが強い場合に対流雲内の代表的な

雨粒は大きくなる傾向がある一方、対流雲内の雨粒の数濃度は減少する傾向にあることが明らかになりました。



第 3 図: 積乱雲の中心かつ地上付近での代表的な雨粒の大きさ (D_0)・数濃度 (N_w)・降水量 (LWC) と周辺大気の場合を代表する環境パラメーターである気温減率 (TLR)・下層の水蒸気量 (PW12)・水平風の鉛直シア一 の大きさ (MS03) との散布図。各図の右上の値は相関係数。

4. 雲の物理から紐解く大雨の特徴

以上の結果は、積乱雲内部の雨粒の特徴を捉えることにより、大雨をもたらしやすい雲かどうかを判別できることを示唆します。これまでの研究では、雨粒同士が衝突し併合する過程は、水平風の鉛直シア一が大きい環境下で生じやすいことが指摘されていました。本研究で得られた結果から、水平風の鉛直シア一が大きいことに加え、気温減率が高いこともより大きな（粒径 2 mm 以上）の雨滴が生成されやすい条件であると考えられます。また一般に、小さな（粒径 0.5 mm 未満）雨粒は容易に蒸発しやすいのですが、水平風の鉛直シア一が小さい環境下では、雨粒同士の衝突併合及び雨粒の蒸発の割合がそれぞれ低下することが想定されます。このような場合には、比較的小さな（粒径 0.5 mm 未満）の雨粒の数が増えると考えられます。相対湿度が 100% に近い条件下では雨滴の蒸発がほとんど起こらないことが知られており、雨粒の大きさ毎の頻度分布の幅を広げることが指摘されています。これらの特徴が重なり合って、本研究で得られた結果に反映されている可能性があります。いずれにしても、大雨をもたらした積乱雲内部の雲微物理特性を第2図のように示すことが出来るようになったことが、本研究の重要な成果の一つと言えます。

積乱雲内部の特徴を知るためには、本研究で示したように周辺大気的环境場を調べることも極めて重要となります。周辺大気の水蒸気量の鉛直積算量である可降水量は、主に熱帯域で発生する積雲や雄大積雲が鉛直方向に発達するかどうかの指標となることが指摘されてきました。同様に、可降水量が積乱雲の発生と発達に重要であることが、日本でも調べられてきました。本研究で明らかとなった積乱雲内部の特徴と周辺大気的环境場の関係から、周辺大気の水蒸気量が高いことは、雲粒・雨粒の数が増えることで地上にもたらされる雨の量が増加することに関係があることを示唆する結果でもあります。

本研究で得られた積乱雲内部の特徴は、中国や米国大陸で生じる典型的な積乱雲やスコールライン等で得られる特徴とは著しく異なっていました。このような差異が何によってもたらされているのか、本研究で得られた観測事実を基にした数値実験等により、引き続き研究を進めていく必要があります。

5. まとめと今後の展望

本研究では、異なる三つの観測データを組み合わせることで、積乱雲内部の特徴を多数の事例から見出しました。本成果は、大雨をもたらす積乱雲の実態把握に極めて重要な貢献となります。この成果により、雨の強さを高精度に推定することが出来るとともに、大雨をもたらしやすい雲の直前予測技術の一つとして貢献することが期待されます。

本研究で得られた結果は、観測測器による時間間隔や空間分布の制約が内在しています。このため、実際にどの程度の水蒸気量であれば大雨となりやすい積乱雲となるのか、どの程度の水平風の鉛直シア一であれば積乱雲の移動が遅くなるのかなどの新たな疑問が生じます。このため、観測事実を基にした数値実験や他の地域における観測データ解析などにより、多角的な視点で引き続き研究を進めていくことで、それらの疑問に答えていきたいと考えています。

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業（若手研究）JP24K17126 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) Unuma, T., 2025: Observed relationship between drop size distribution and environmental properties near Kumagaya in eastern Japan. *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 11109–11128. doi:10.5194/egusphere-2025-210